مجلة جامعة كركوك للدراسات الانسانية المجلد (٢١) العدد الأول أذار ٢٠٢٦
Kirkuk University Journal: Humanity Studies
مجلة جامعة كركوك للدراسات الانسانية
ISSN P: 1992-1179
ISSN E: 3107-3360
https://kujhs.uokirkuk.edu.iq
DOI: 10.32894/1992-1179.2026.168444.1335

Application of the Bergsma Model for Estimating Gully Erosion and Its Geomorphological Implications in the Al-Naft Valley Basin, Kirkuk Governorate

Lecturer, PhD.Ismael Abir Kraen Al-Ali

Date of research received 07/01/2026, Revise date 12/01/2026, accepted date 28/01/2026, Online Publishing15/3/2026

Abstract

Erosion is considered one of the main causes of land degradation worldwide, particularly in the extensive arid and semi-arid regions, due to its significant environmental and geomorphological impacts. Accordingly, this study aimed to estimate gully erosion in the Wadi Al-Naft basin, Kirkuk Governorate, by applying the Bergsma coefficient and utilizing Geographic Information Systems (GIS) techniques. The results showed that erosion intensity ranges from very low to moderate and high, with the area of slight erosion reaching 17.666 km², moderate erosion 103.584 km², and high erosion 135.383 km², while very high erosion recorded the smallest area of 1.425 km². The findings also revealed that moderate erosion is the dominant type in the basin, reflecting a relative balance between surface runoff energy and the resistance of surface formations, particularly in areas with moderate slopes. Accordingly, the study recommended directing soil conservation measures toward zones of moderate, high, and very high erosion by enhancing natural vegetation cover and reducing unregulated human activities, especially in the upper parts of the basin.

In the present study, an effective analytical tool developed within a Geographic Information Systems (GIS) environment was utilized to assess gully erosion levels based on the Bergsma method, as proposed by Ismaeel et al. (2021). This Python- and ArcGIS-based program was designed to divide the drainage network into cells, calculate erosion levels, and perform spatial analysis, thereby enhancing the accuracy of estimation and identifying the seven categories of erosion severity within the study basin. The results of applying this tool in similar basins have confirmed its effectiveness in linking the characteristics of the drainage network and slope to the spatial and functional development of gulliesKeywords: Environmental geomorphology, Human impact, Spatio-temporal analysis, Sentinel-2, Land cover change

Keywords: erosion, oil valley, Perksma, land cover.

تطبيق نموذج بيركسما في تقدير التعرية الأخدودية وانعكاساتها الجيومورفولوجية في حوض وادي النفط بمحافظة كركوك

م.د. إسماعيل عابر كرين العلي*

تاريخ الارسال ٢٠٢٦/١/٠٧ ، تاريخ التعديل ٢٠٢٦/٠١/١٢ ، تاريخ القبول ٢٠٢٦/٠١/٢٨ ، تاريخ النشر ٢٠٢٦/٣/١٥

الملخص:

تعد التعرية أحد الأسباب الرئيسة لتدهور الأراضي على مستوى العالم، ولا سيما في المساحات الواسعة من الأقاليم القاحلة وشبه القاحلة، لما يترتب عليه من آثار بيئية وجيومورفولوجية بالغة الأهمية، وانطلاقًا من ذلك، هدفت الدراسة إلى تقدير التعرية الأخدودية في حوض وادي النفط بمحافظة كركوك باستخدام معامل بيرجسما وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، وأظهرت النتائج أن شدة التعرية تتراوح بين الضعيفة جدًا والمتوسطة والعالية، إذ بلغت مساحة التعرية الخفيفة ١٧.٦٦٦ كم٢، والمتوسطة ١٠٣.٥٨٤ كم٢، والعالية ١٣٥.٣٨٣ كم^2، فيما سجلت التعرية العالية جدًا أقل مساحة بلغت ١.٤٢٥ كم٢، وقد تبين أن التعرية المتوسطة هي السائدة في الحوض، ما يعكس حالة توازن نسبي بين طاقة الجريان السطحي ومقاومة التكوينات السطحية، خاصة في مناطق الانحدارات المعتدلة. وبناءً على ذلك، أوصت الدراسة بتوجيه إجراءات حماية التربة نحو مناطق التعرية المتوسطة والعالية والعالية جدًا، عبر تعزيز الغطاء النباتي والحد من الأنشطة البشرية غير المنظمة، ولا سيما في أعالي الحوض.

وفي الدراسة الحالية تم الاستفادة من تطوير أداة تحليلية فعّالة تم بناؤها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لمعالجة مستويات التعرية الأخدودية استنادًا إلى طريقة Bergsma ، كما اقترحها(Ismaeel,2021) ، حيث طُوروا هذه الاداة في بيئة Python و ArcGISلتقسيم شبكة المجاري المائية إلى خلايا وحساب مستويات التعرية وتحليلها مكانيًا، مما عزّز من دقة التقدير وتحديد الفئات السبعة لشدة التعرية في حوض الدراسة، وقد أكدت نتائج تطبيق هذه الأداة في أحواض مماثلة فعاليتها في ربط خصائص الشبكة التصريفية والانحدار بمدى تطور الأخاديد عامليًا ومكانيًا.

الكلمات المفتاحية (التعرية، وادي النفط، بيركسما، الغطاء الأرضي)

*جامعة كركوك/ كلية الاداب Ismaelalali@uokirkuk.edu.iq

١. المقدمة

تُعد التعرية الأخدودية من أبرز العمليات الجيومورفولوجية، اذ تساهم في إعادة تشكيل سطح الأرض، ولا سيما في البيئات القاحلة وشبه القاحلة، إذ تمثل مرحلة متقدمة من مراحل التعرية المائية الناتجة عن تركّز الجريان السطحي وتزايد طاقته التعرية، ويؤدي تطور الأخاديد إلى فقدان كميات كبيرة من التربة، وتدهور الأراضي الزراعية، واختلال التوازن الجيومورفولوجي للأحواض المائية، فضلًا عن تأثيراته البيئية والاقتصادية.

وفي هذا السياق، برزت النماذج الكمية بوصفها أدوات علمية مهمة لقياس شدة التعرية وتحليل توزيعها المكاني، ويُعد نموذج Bergsma من النماذج المعتمدة في تقييم التعرية الأخدودية اعتمادًا على العلاقة بين أطوال المجاري المائية ومساحة الحوض.

وتزداد أهمية تطبيق هذا النموذج في حوض وادي النفط بمحافظة كركوك لما يتميز به من ظروف طبيعية وبشرية تسهم في تنشيط عمليات التعرية، الأمر الذي يستدعي دراسة انعكاساتها الجيومورفولوجية.

١-١ أهمية الدراسة

تنبع أهمية هذه الدراسة من عدة جوانب، من أبرزها تسليط الضوء على التعرية الأخدودية بوصفها إحدى أخطر مظاهر تدهور الأراضي في الأحواض شبه القاحلة من خلال تطبيق نموذج Bergsma كأداة كمية حديثة لقياس شدة التعرية وتحليلها

مكانيًا، والإسهام في بناء قاعدة علمية يمكن الاستفادة منها في إدارة الأراضي والموارد الطبيعية والحد من مخاطر التعرية في حوض وادي النفط.

١-٢ مشكلة الدراسة

تنطلق مشكلة الدراسة من التساؤل الرئيس الآتي:

ما مدى شدة التعرية الأخدودية في حوض وادي النفط بمحافظة كركوك، وما انعكاساتها الجيومورفولوجية في ضوء تطبيق نموذج Bergsma؟

١-٣ فرضية الدراسة

تفترض الدراسة أن حوض وادي النفط بمحافظة كركوك يتعرض لشدة متفاوتة من التعرية الأخدودية، تتراوح بين الضعيفة والمتوسطة، نتيجة تداخل العوامل الطبيعية المتمثلة بالانحدار وشبكة التصريف، والعوامل البشرية المرتبطة باستخدامات الأرض والنشاط النفطي.

١-٤ أهداف الدراسة

١- قياس شدة التعرية الأخدودية في حوض وادي النفط باستخدام نموذج Bergsma.

٢- تحليل التوزيع المكاني للتعرية الأخدودية داخل الحوض.

٣- الكشف عن العلاقة بين التعرية الأخدودية وبعض الخصائص الجيومورفولوجية.

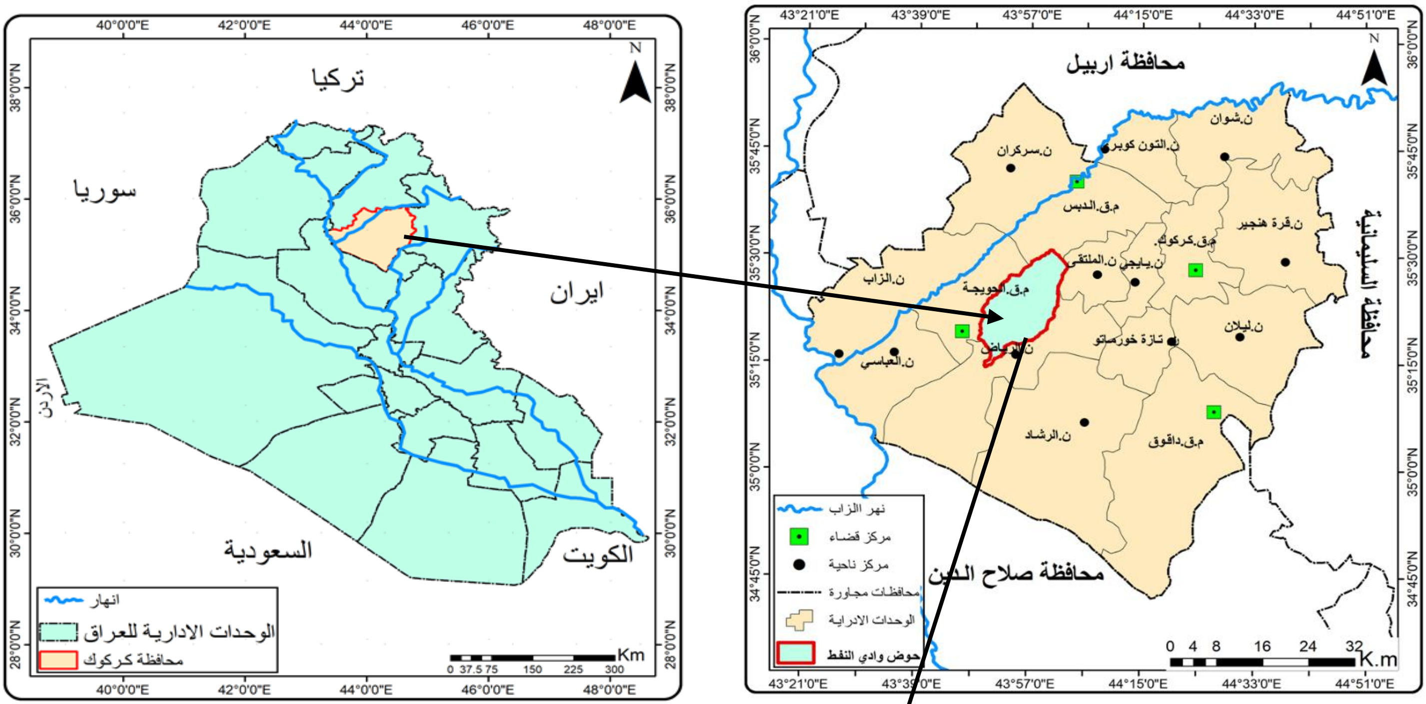
٤- بيان الانعكاسات الجيومورفولوجية للتعرية الأخدودية على سطح الحوض.

١-٥ منهج الدراسة

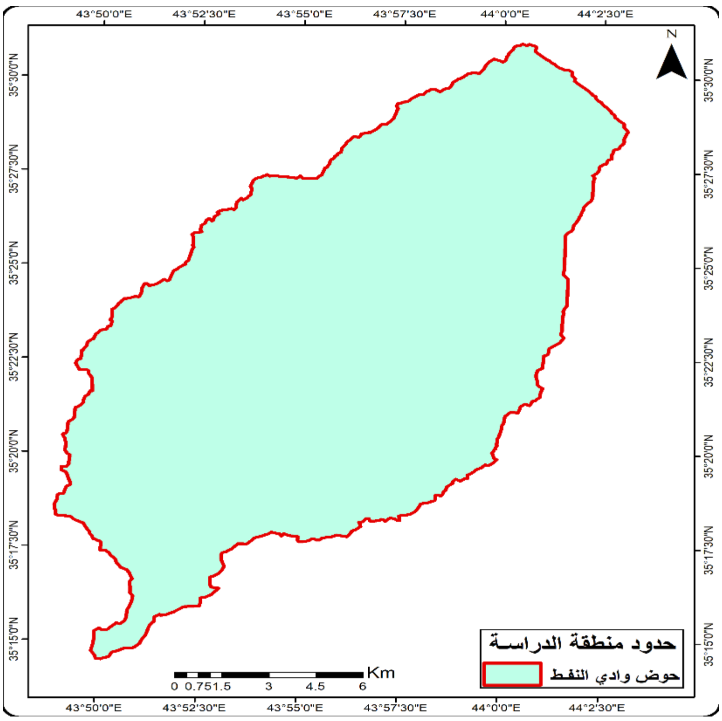
اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي–التحليلي، من خلال وصف الخصائص الجيومورفولوجية لحوض وادي النفط، وتحليلها كميًا باستخدام نموذج Bergsma. كما تم توظيف المنهج الكمي التطبيقي بالاعتماد على تقنيات (GIS) لاستخراج شبكة التصريف المائي، وتحديد مساحة الحوض، وحساب أطوال المجاري المائية.

١-٦ موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة فلكيًا ضمن الجزء الشمالي من العراق، بين دائرتي عرض (35° 14′ 1″ – 35° 37′ 4″) شمالًا، وخطي طول (43° 27′ 17″ – 44° 34′ 1″) شرقًا، وتغطي مساحة تُقدَّر بنحو (1681,1)كم²، إداريًا، يقع حوض منطقة الدراسة ضمن محافظة كركوك، إذ يمتد بشكل كبير ليشمل عددًا من الأقضية والنواحي والقرى، من أبرزها مركز قضاء الدبس، ومركز قضاء الحويجة، وناحيتا الرياض والرشاد، إضافة إلى جزء صغير من وسط قضاء كركوك. أمّا من حيث حدوده الطبيعية، فيحد الحوض من الشمال والشرق هضبة كركوك، ومن الغرب سهل بايجي، في حين يحده من الجنوب سهل الحويجة.



خريطة (١) موقع منطقة الدراس



المصدر: خريطة العراق الادارية بمقياس ١٠٠٠,٠٠٠١١، وبرنامج arc gis 10.8

٢. الخصائص الطبيعية في حوض وادي النفط

٢-١ الخصائص الجيولوجية

تتألف التكوينات الجيولوجية السائدة في منطقة حوض وادي النفط من صخور رسوبية تنتمي إلى العصور الجيولوجية الحديثة نسبيًا، وتغلب عليها الصخور الجيرية والطفلية، فضلاً عن وجود ترسبات فتاتية حديثة في قيعان الأودية والمناطق المنخفضة. وتتميز هذه التكوينات بدرجات متفاوتة من الصلابة والمقاومة لعمليات التعرية، إذ تُعد الصخور الطرية نسبيًا أكثر عرضة للنحت المائي وتطور الأخاديد. كما أسهم التركيب البنيوي العام للمنطقة، المتمثل بالميل الطبقي البسيط والتشققات، في تسهيل تركّز الجريان السطحي وتعميق المجاري المائية داخل الحوض. (العزي، ٢٠١٣، صفحة ٢٢٢).

٢-٢ الخصائص المناخية

يقع حوض وادي النفط ضمن النطاق المناخي شبه الجاف القاري السائد في شمال العراق، اذ تُظهر الخصائص الحرارية للمنطقة ارتفاعًا واضحًا في درجات الحرارة خلال فصل الصيف، إذ تسود الظروف الحارة والجافة نتيجة لسيطرة المنخفض الحراري شبه المداري، مما يؤدي إلى زيادة معدلات التبخر وضعف الرطوبة الأرضية، وانخفاض الغطاء النباتي الطبيعي. وتُسهم هذه الظروف في زيادة تفكك بنية التربة من خلال التجوية الفيزيائية ، وهو ما يجعل سطح الأرض أكثر عرضة للنحت عند حدوث الهطولات المطرية اللاحقة (العزي، ٢٠١٣).

أما من حيث التساقط فالأمطار فيها شتوية وربيعية تتركز في الأشهر الباردة والمعتدلة، في حين يكاد ينعدم التساقط خلال فصل الصيف لوقوع المنطقة ضمن بيئة المناطق شبه الجافة مناخيا، وتتميز الأمطار بعدم انتظامها الزماني، إذ تسقط غالبًا على شكل زخات قصيرة لكنها عالية الشدة، وهي سمة مناخية شائعة في البيئات شبه الجافة. وتؤدي هذه الخاصية إلى زيادة الجريان السطحي على حساب التسرب، خاصة في ظل جفاف التربة وضعف الغطاء النباتي، مما يهيئ الظروف الملائمة لتطور التعرية الأخدودية داخل الحوض (جاسم، ٢٠٠٦).

وعليه فان التفاعل بين الحرارة المرتفعة صيفًا، والتساقط المطري المركز شتاءً، يخلق نظامًا مناخيًا ذا تأثير مباشر في تشكيل الشبكة المائية وتوسّع المجاري المؤقتة، إذ تتزايد قدرة المياه الجارية على التعرية الرأسي والجانبي، وتكوين الأخاديد، خاصة في المناطق ذات الانحدارات المتوسطة والمواد السطحية المفككة. وبذلك يُعد المناخ عنصرًا محوريًا في تفسير التباين المكاني لشدة التعرية الأخدودية داخل حوض وادي النفط، وفي فهم انعكاساتها الجيومورفولوجية العامة.

٢-٣ الخصائص الجيومورفولوجية

يُظهر نموذج نطاق الارتفاع وكما موضح في (خريطة ٢) أن حوض وادي النفط يتميز بتباين واضح في المناسيب الطبوغرافية، إذ يتراوح الارتفاع فيه بين (١٨٠) مترًا فوق مستوى سطح البحر عند أدنى نقطة في الحوض (٣٥٠) مترًا عند أعلى مناطقه، ما يعكس فرقًا ارتفاعيًا يبلغ نحو (١٧٠) مترًا. وقد أمكن تصنيف الارتفاعات ضمن

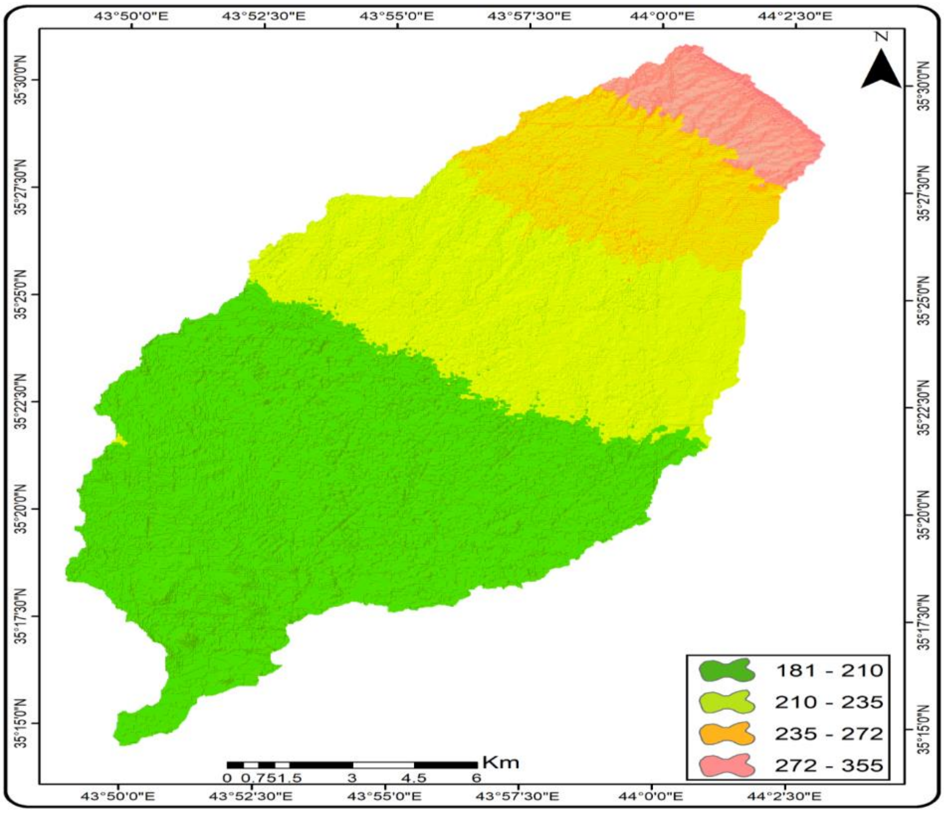
الحوض إلى أربع فئات رئيسية، تمثل مستويات تضاريسية متباينة من حيث الارتفاع والانحدار والطاقة الجيومورفولوجية.

- ❖ الفئة الأولى بالأجزاء المنخفضة من الحوض، والتي تضم المجرى الرئيس للوادي ومناطق المصب، حيث تسود الانحدارات الضعيفة نسبيًا، ويغلب عليها طابع الترسيب أكثر من التعرية، وتتميز هذه المناطق بانخفاض طاقة الجريان السطحي، مما يؤدي إلى تباطؤ سرعة المياه وتراكم الرواسب الدقيقة، في حين تقل فيها مظاهر التعرية الأخدودية مقارنة بالأجزاء العليا من الحوض.
- ❖ الفئة الثانية والثالثة، التي تمثل المناطق المتوسطة الارتفاع، فتُعد نطاقًا انتقاليًا بين المنابع والمصب، إذ تشهد توازنًا نسبيًا بين عمليتي التعرية والترسيب. وتُسهم هذه المناطق في تركيز الجريان السطحي وتغذية الشبكة المائية، فضلًا عن دورها في نقل الحمولة النهرية من الأجزاء العليا نحو المناطق الدنيا، الأمر الذي ينعكس في ظهور أخاديد متوسطة العمق والاتساع، خاصة على المنحدرات ذات الانحدار النسبي الأعلى.
- ❖ الفئة الرابعة أعلى أجزاء الحوض، حيث تسود الانحدارات الأكثر شدة والطاقة الجيومورفولوجية المرتفعة، مما يجعلها المصدر الرئيس للجريان السطحي وتطور التعرية الأخدودية، ففي هذه المناطق، يؤدي تركز مياه الأمطار، ولا سيما خلال العواصف المطرية قصيرة المدة وعالية الشدة، إلى تعميق المجاري المائية وتوسع الأخاديد، فضلًا عن زيادة فاعلية التعرية الرأسي والجانبي، الأمر الذي يسهم في تطور شبكة مائية أكثر كثافة وتشعبًا.

ويُعد هذا التدرج في نطاقات الارتفاع عاملًا حاسمًا في التحكم بطبيعة الشبكة المائية داخل الحوض، إذ تتشكل المجاري العليا في المناطق المرتفعة ضمن أنماط تصريف دقيقة ومتفرعة، قبل أن تندمج تدريجيًا باتجاه المناطق المتوسطة والدنيا لتكوّن مجرى رئيسًا واحدًا. كما يسهم فرق الارتفاع الكبير نسبيًا في زيادة سرعة الجريان وطاقة النقل، (جاسم، ٢٠٠٦، صفحة ٥٩) وهو ما يفسر ارتفاع قيم التعرية الأخدودية التي تم رصدها في بعض أجزاء الحوض عند تطبيق نموذج Bergsma.

وبناء على ما تقدم فإن التباين الارتفاعي يشكل عاملًا بنيويًا أساسًا في تفسير تطور التعرية الأخدودية وتوزيعها المكاني، فضلاً عن تأثيره المباشر في بنية الشبكة المائية وكفاءتها التصريفية، مما يؤكد الترابط الوثيق بين الارتفاع والانحدار من جهة، وعمليات التعرية المائي من جهة أخرى (Monteith & Unsworth, 2013).

خريطة(٢) نموذج نطاق الارتفاعات في منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج arc gis10.8

٢-٤ الغطاء الأرضي في حوض وادي النفط

يُعد الغطاء الأرضي أحد العوامل الرئيسة المؤثرة في فاعلية العمليات الجيومورفولوجية، ولا سيما التعرية المائية والأخدودية، لما له من دور مباشر في التحكم بدرجة حماية سطح الأرض من طاقة الجريان السطحي وقدرته على تثبيت التربة، وتوضح (الخريطة ٣) ان الغطاء الأرضي لحوض وادي النفط يظهر تنوعًا واضحًا في أنماط استخدام الأرض والغطاء السطحي، وهو تنوع يعكس تداخل العوامل الطبيعية والبشرية في تشكيل الخصائص المورفولوجية للحوض.

وتشير الخريطة إلى أن الأراضي الزراعية تشغل مساحة واسعة من الحوض، ولا سيما في أجزائه الوسطى والجنوبية، حيث تسود الانحدارات الضعيفة نسبيًا وتتوفر ترب ملائمة للزراعة. ويسهم هذا النوع من الغطاء الأرضي في تقليل شدة التعرية من خلال زيادة خشونة السطح وتعزيز امتصاص مياه الأمطار، مما يؤدي إلى خفض سرعة الجريان السطحي وتقليل قدرته على التعرية في تفسير العلاقة بين الغطاء النباتي والحد من فقدان التربة. (Lillesand et al, 2015)

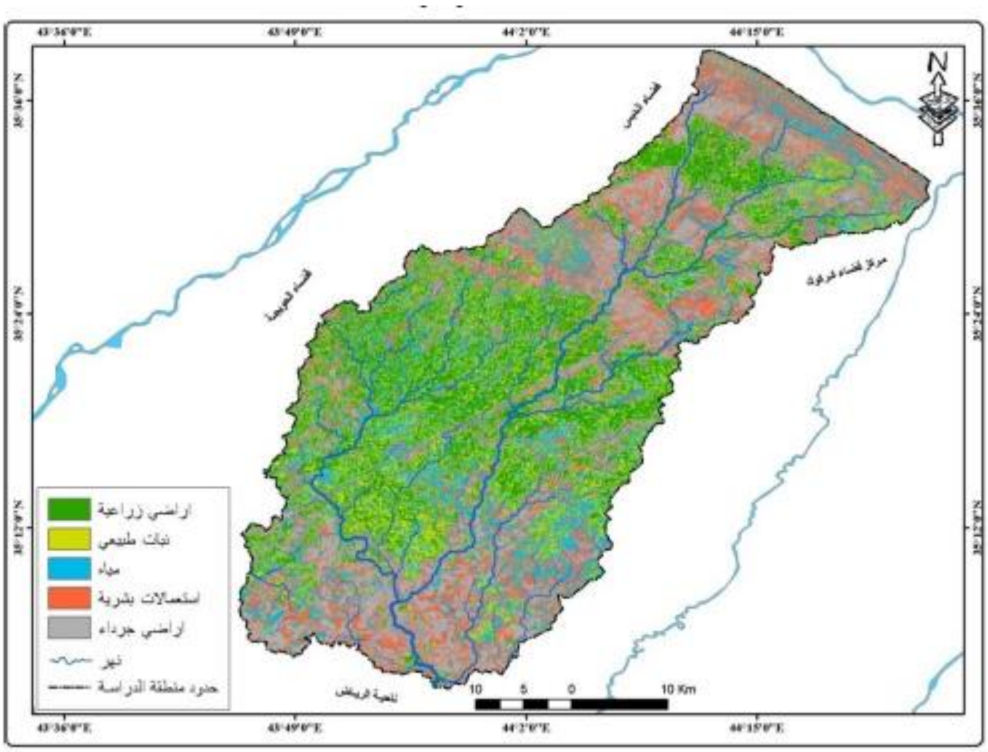
كما يظهر الغطاء النباتي الطبيعي موزعًا على شكل بقع متفرقة، يتركز أغلبها في المناطق ذات التضاريس المتوسطة وعلى جوانب المجاري المائية، ويؤدي هذا الغطاء دورًا مهمًا في تثبيت التربة وتقليل قابليتها للانجراف، كما تتميز أجزاء من الحوض بانتشار الأراضي المكشوفة والاستصلاحات البشرية، خاصة في المناطق العليا وحول بعض المجاري المائية، حيث ساهم اضطراب الغطاء النباتي الطبيعي إلى زيادة تعرض التربة لعمليات التعرية المائي، وتُعد هذه المناطق من أكثر أجزاء الحوض قابلية للتعرية الأخدودية، نتيجة ارتفاع معدل الجريان السطحي وانخفاض مقاومة التربة للانجراف .(Foody, 2003)

ويُستدل من هذا التوزيع المكاني للغطاء الأرضي على وجود علاقة وثيقة بين نوع الغطاء السطحي وشدة التعرية الأخدودية، إذ انه من ثوابت الجيومورفولوجيا ان تنخفض معدلات التعرية في المناطق التي يغلب عليها الغطاء النباتي والأراضي الزراعية، في حين ترتفع في المناطق المكشوفة والمتأثرة بالنشاط البشري، ولا سيما عند

تقاطعهـــــــا مـــــــع الانحـــــــدارات الأعلـــــــى والشـــــــبكة المائيةة النشطة، (Monteith & Unsworth, 2013).

وبنـاءً علـى مـا تقـدم، فـإن الغطـاء الأرضـي فـي حـوض وادي الـنفط يمثـل عنصـرًا تفسـيريًا أساسـيًا لفهـم ديناميكيـة التعريـة الأخدوديـة وتطـور الشـبكة المائيـة، ويبـرز أهميـة دمـج خـرائط الغطـاء الأرضـي مـع النمـاذج الكميـة، مثـل نمـوذج Bergsma، (الـذي سـنتطرق اليه لاحقاً) في الدراسات الجيومورفولوجية التطبيقية ذات البعد البيئي والتنموي.

خريطة (٣) أصناف الغطاء الأرضي في منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج arc gis10.8

٣. حساب التعرية الأخدودية تطبيق نموذج Bergsma

تُعد طريقة بيرجسما (Bergsma) من النماذج الكمية المهمة في دراسات التعرية الأخدودية، إذ تعتمد على تحليل كثافة الأخاديد أو المجاري المائية داخل وحدات مساحية منتظمة بهدف تقدير شدة التعرية وتصنيفها إلى مستويات مكانية مختلفة. وقد طُورت هذه الطريقة في الأساس لتوفير أداة مبسطة وفعّالة يمكن تطبيقها في البيئات الجافة وشبه الجافة التي تتسم بتباين واضح في التضاريس وشبكات التصريف السطحي.

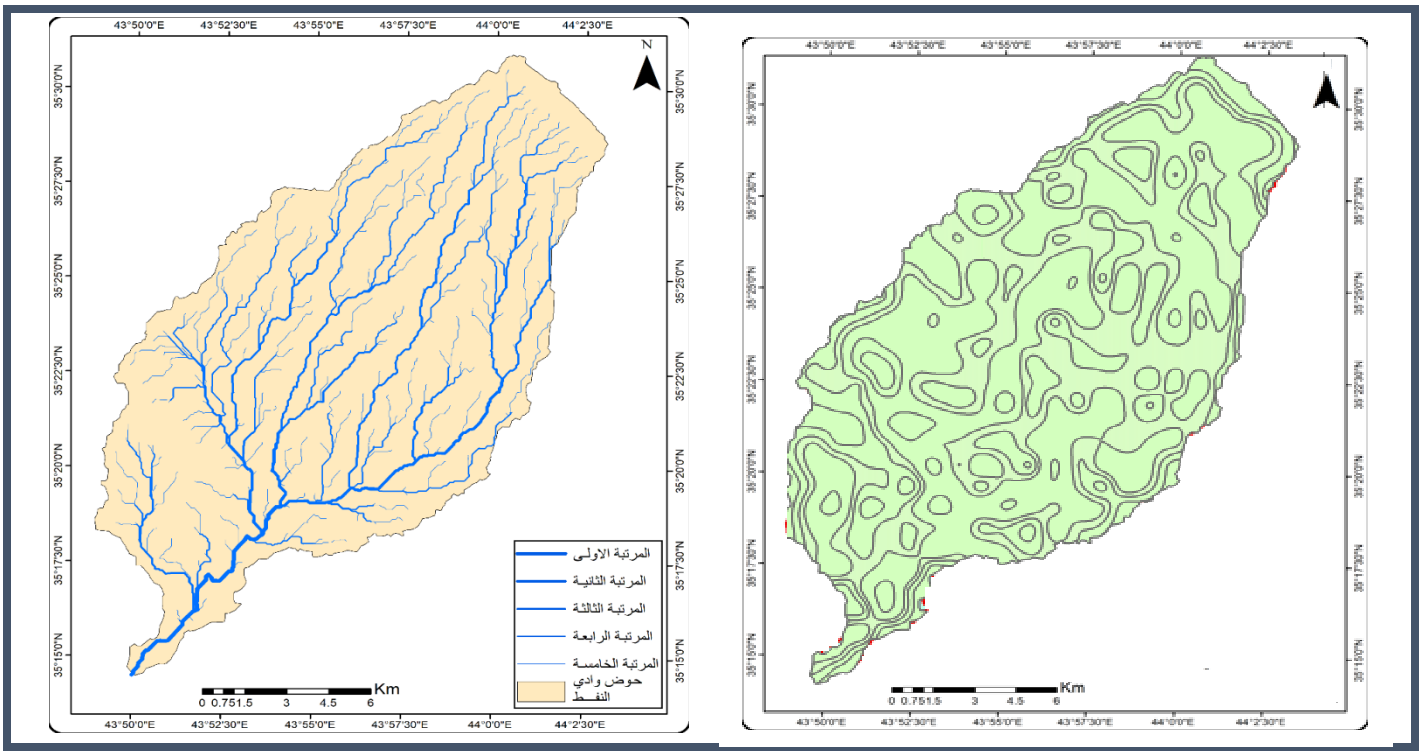
تعتمد طريقة بيرجسما على مبدأ أن زيادة طول المجاري المائية أو الأخاديد داخل وحدة مساحية محددة يعكس ارتفاع طاقة الجريان السطحي وزيادة قابليته على التعرية، وبالتالي ارتفاع شدة التعرية الأخدودية. ويتم ذلك من خلال تقسيم حوض التصريف إلى شبكة من المربعات المتساوية (Grid أو Fishnet)، ثم حساب مجموع أطوال المجاري المائية داخل كل وحدة، ليُعبر عنها عادة بوحدة (متر/كم²)، ومن ثم تصنيفها إلى فئات تعكس درجات التعرية من الضعيفة إلى الشديدة (Bergsma, 1982)

وفي هذا السياق، طور (Ismaeel et al, 2021) أدوات تحليلية فعّالة داخل بيئة GIS تعتمد على طريقة بيرجسما، باستخدام لغات برمجية مثل Python، ما أتاح أتمتة عمليات حساب التعرية وتصنيفها إلى عدة مستويات مكانية بدقة أعلى. وقد أثبتت هذه الأدوات كفاءتها في تحديد مستويات التعرية الأخدودية وربطها بالعوامل الطبيعية وكثافة الشبكة المائية (Ismaeel et al, 2021).

بدأت الآلية بإعداد نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمنطقة الدراسة، والذي يمثل الأساس في اشتقاق الخصائص الطبوغرافية، ولا سيما اتجاه الجريان والانحدار، وبعد معالجة النموذج رقميًا باستخدام أدوات (Fill) لمعالجة المنخفضات المغلقة، جرى استخراج اتجاه الجريان (Flow Direction) وتراكم الجريان (Flow Accumulation)، الأمر الذي أتاح تحديد مسارات الجريان السطحي المحتملة بدقة عالية.

بعد استخراج الشبكة المائية وتحويلها إلى بيانات خطية (Polyline)، (خريطة ٤)، تم تقسيم حوض التصريف إلى شبكة مربعات منتظمة (Fishnet) ذات أبعاد ثابتة، وهو الإجراء الجوهري في تطبيق طريقة بيرجسما، وتكمن فلسفة هذه الخطوة في تحويل التعرية من ظاهرة خطية إلى قيم كمية موزعة مساحيًا، تسمح بالمقارنة بين أجزاء الحوض المختلفة، ثم جرى حساب مجموع أطوال المجاري المائية داخل كل وحدة شبكية باستخدام أدوات التحليل المكاني، وعُبّر عن هذه القيم بوحدة (متر/كم^2)، والتي تمثل المؤشر الكمي لشدة التعرية الأخدودية، وبناءً على هذه القيم، صُنفت وحدات الحوض إلى عدة فئات تعكس مستويات التعرية، تراوحت من الضعيفة جدًا إلى الشديدة، تبعًا لازدياد كثافة المجاري داخل الوحدة الواحدة.

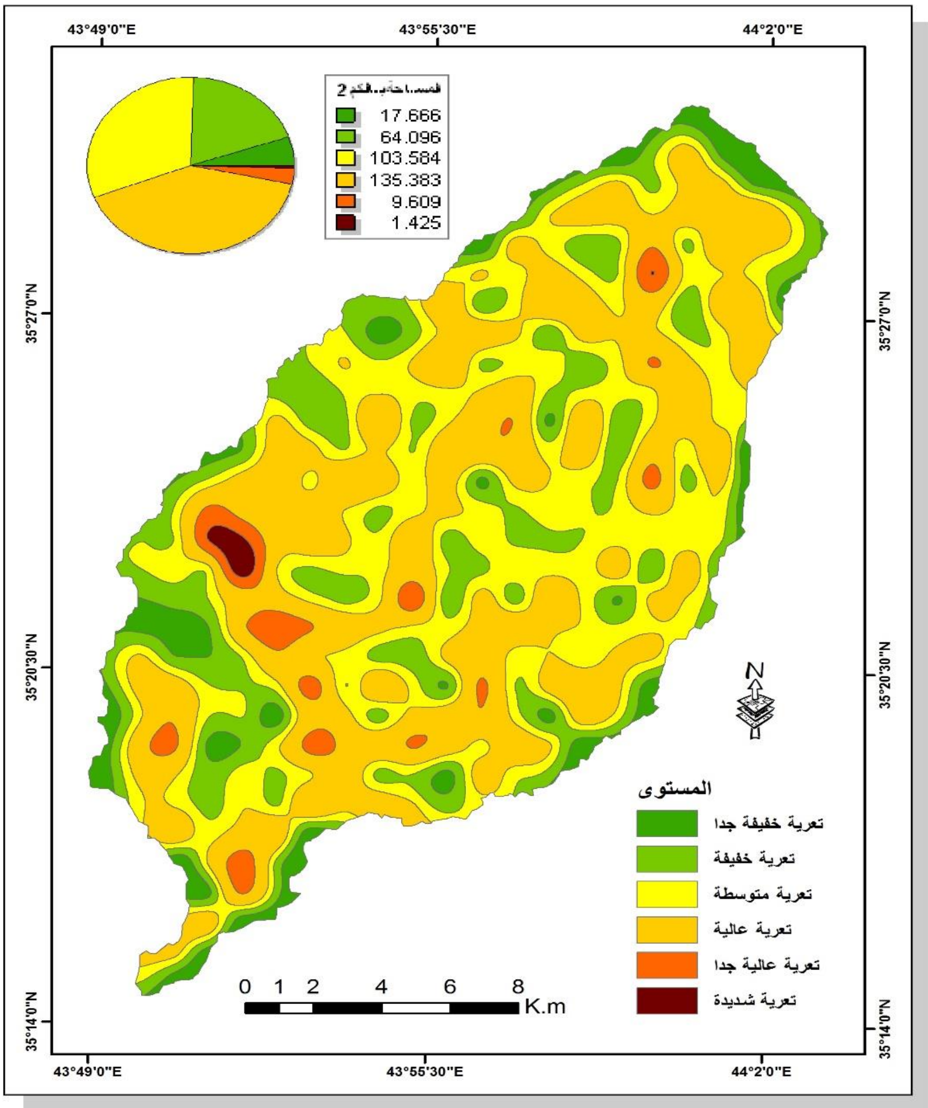
خريطة (٤) المراتب النهرية في حوض وادي النفط



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على برنامج Arc GIS10.8

اذ ظهر تباينًا مكانيًا واضحًا في مستويات التعرية الأخدودية، وهو تباين يعكس بشكل مباشر الآلية المعتمدة في هذا النموذج، والقائمة على كثافة المجاري المائية داخل الوحدات المساحية المنتظمة (Fishnet) إذ جرى، وفق المنهجية المعتمدة، تقسيم الحوض إلى وحدات شبكية متساوية المساحة، وحساب مجموع أطوال المجاري المائية داخل كل وحدة، والتعبير عنها بوحدة (م/كم²)، ثم تصنيفها إلى ستة مستويات تعكس شدة التعرية خريطة (٥).

خريطة (٥) فئات التعرية الاخدودية وفقا لأنموذج Bergsma



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على انموذجBergsma وبرنامج Arc GIS10.8

تشير نتائج الخريطة (٥) إلى سيادة مستوى التعرية المتوسطة على معظم مساحة الحوض، وهو ما توضحه المساحات الواسعة الممثلة باللون الأصفر، إذ بلغت قيمها نحو (١٠٣.٥٨٤ كم^2)، وبنسبة هي الأعلى مقارنة ببقية المستويات. ويعكس هذا المستوى وجود شبكة مائية متوسطة الكثافة، ناتجة عن تدرج الانحدار المعتدل وانتشار

الترسبات السطحية الحديثة، مما يسمح بتطور الجريان السطحي دون الوصول إلى طاقة نحت عالية جدًا. وتنسجم هذه النتائج مع الأساس النظري لطريقة بيرجسما التي تفترض أن التعرية المتوسطة تمثل حالة توازن نسبي بين طاقة الجريان ومقاومة السطح (Bergsma, 1982).

في المقابل، تظهر مستويات التعرية العالية والعالية جدًا ممثلة باللونين البرتقالي والبرتقالي الداكن، وقد تركزت بشكل واضح في أجزاء متفرقة من وسط الحوض وأعاليه، حيث بلغت مساحتها نحو (١٣٥.٣٨٣ كم²) و (٩.٦٠٩ كم²) على التوالي.

ويُعزى هذا التركز إلى ارتفاع كثافة المجاري المائية داخل الوحدات الشبكية في هذه المناطق، نتيجة زيادة الانحدار النسبي وتقاطع المجاري الفرعية، مما يؤدي إلى زيادة طاقة الجريان السطحي وقدرته على تعميق الأخاديد وتوسيعها. ويؤكد هذا التوزيع صحة الفرضية التي تعتمدها طريقة بيرجسما في ربط شدة التعرية بطول المجاري داخل الوحدة المساحية (Ismaeel et al, 2021)

أما مستوى التعرية الشديدة، الممثل باللون الأحمر الداكن، فقد ظهر بشكل محدود جدًا، وبمساحة لا تتجاوز (١.٤٢٥ كم²)، متركزًا في نطاقات ضيقة داخل الحوض. ويشير هذا النطاق إلى مناطق ذات حساسية جيومورفولوجية عالية، تتصف بارتفاع الانحدار أو بضعف الغطاء الأرضي، مما يسمح بتركيز الجريان السطحي ضمن مجارٍ قصيرة لكنها شديدة الفاعلية من حيث التعرية. وتؤكد هذه النتيجة أن طريقة بيرجسما لا تبالغ في تعميم التعرية الشديدة، بل تميزها بدقة ضمن الوحدات التي تتوافر فيها شروط طبوغرافية وهيدرولوجية خاصة (Strahler & Strahler, 2006)

في حين تسود مستويات التعرية الخفيفة والخفيفة جدًا، الممثلة باللونين الأخضر الفاتح والداكن، على أطراف الحوض، ولا سيما قرب مناطق المصب، حيث بلغت مساحاتها نحو (٦٤.٠٩٦ كم²) و (١٧.٦٦٦ كم²).

ويعكس هذا التوزيع انخفاض كثافة الشبكة المائية وضعف الانحدار، فضلًا عن تأثير الترسيب النهري واتساع السهل الفيضي، مما يقلل من طاقة الجريان السطحي وقدرته على إحداث التعرية الأخدودية. وتنسجم هذه النتائج مع الاتجاه العام لانحدار الحوض من الشمال والشمال الشرقي نحو الجنوب والجنوب الغربي.

وبناءً على ما سبق، يتضح أن نتائج خريطة التعرية الأخدودية في حوض وادي النفط جاءت منسجمة بشكل كبير مع الآلية المعتمدة في طريقة بيرجسما، إذ عكست العلاقة الطردية بين كثافة المجاري المائية وشدة التعرية، وأظهرت تدرجًا منطقيًا في مستويات التعرية من أعالي الحوض باتجاه أجزائه الدنيا. كما تؤكد هذه النتائج كفاءة دمج نموذج بيرجسما مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في تمثيل التباين المكاني للتعرية الأخدودية وتحليل انعكاساتها الجيومورفولوجية.

٣-١ الانعكاسات الجيومورفولوجية

إن تحليل التعرية الأخدودية في حوض وادي النفط لا يكتمل عند حدود توصيف التوزيع المكاني لفئات التعرية المستخرجة من نموذج Bergsma، بل يكتسب بعده العلمي الحقيقي من خلال ربط هذه الفئات بالتحولات الجيومورفولوجية التي طرأت على سطح الحوض، إذ تُظهر النتائج أن سيادة الفئات المتوسطة والعالية والعالية جدًا من التعرية تمثل انعكاسًا مباشرًا لتطور المنحدرات وتزايد عدم استقرارها المورفوديناميكي،

حيث أدى تركز الجريان السطحي فوق الأسطح ذات الانحدارات المتوسطة إلى الشديدة إلى تعميق الأخاديد وتوسيع مقاطعها العرضية والطولية، بما أسهم في إعادة تشكيل البنية الطبوغرافية للحوض ورفع كفاءة الشبكة التصريفية في نقل الرواسب الدقيقة والخشنة على حد سواء، اذ أن ازدياد شدة التعرية الأخدودية يرتبط مباشرة بمرحلة النضج المورفولوجي لشبكات التصريف في الأحواض شبه الجافة (عبد الرحيم، ٢٠١٦).

ان الرجوع الى خرائط التعرية والارتفاع والمراتب النهرية والغطاء الأرضي، يكشف عن علاقة سببية واضحة بين شدة التعرية وتباين الخصائص الجيومورفولوجية، إذ تركزت أعلى فئات التعرية ضمن نطاقات الانحدار التي تتجاوز (١٠–١٥°) وفي مناطق الرتب النهرية العليا والدنيا على حد سواء، الأمر الذي يعكس تفاعلًا مزدوجًا بين طاقة الجريان في أعالي الحوض وقابلية النحت في الأجزاء الوسطى والدنيا منه،اذ ان التعرية لا تُفسَّر بعامل واحد بل بمنظومة تفاعلية تجمع بين الانحدار، الغطاء الأرضي، وكثافة الشبكة التصريفية. (فرحان، ٢٠٢٤)

كما يُظهر توزيع فئات التعرية ضمن المستويات التضاريسية المختلفة أن التعرية العالية والعالية جدًا تتركز في السفوح الوسطى والمنحدرات الانتقالية، في حين تسود الفئات الخفيفة والخفيفة جدًا في الأسطح شبه المستوية والسهول الفيضية، مما يعكس دور التدرج التضاريسي في ضبط شدة العمليات الأخدودية وتحديد اتجاهات تطورها، اذ أن المنحدرات تمثل المجال الحيوي الأساسي لتطور التعرية الأخدودية في البيئات الجافة وشبه الجافة (Al-Saadi, 2023)

وفـي هـذا السـياق، ينبغـي التأكيـد علـى أن نمـوذج Bergsma المسـتخدم فـي هـذه الدراسـة يُعـد أداةً فعالـة فـي تحديـد التبـاين النسـبي لشـدة التعريـة الأخدوديـة ورسـم خـرائط منـاطق الخطـورة، إلا أن نتائجـه لا تمثـل قياسـات مباشـرة لفقـدان التربـة، بـل مؤشـرات مكانيـة نسـبية تعكس قابليـة السـطح للتعريـة أكثـر ممـا تعكـس حجـم الإزالـة الفعليـة للرواسـب، وهـو مـا يتطلـب التعامـل مـع مخرجاتـه ضـمن إطارهـا التفسـيري لا القياسـي، وبنـاءً عليـه فـإن نتـائج هـذه الدراسـة تمثـل أساسًـا علميًـا لتحليـل التحـولات الشـكلية لسـطح الحـوض وتحديـد مناطق الهشاشة المورفولوجية، لا مجرد توصيف مكاني لفئات التعرية.

٤. الخاتمة

٤-١ الاستنتاجات

١- أظهرت النتائج أن التعرية الأخدودية المتوسطة هي السائدة في الحوض، حيث استحوذت على أكبر مساحة، وهو ما يعكس حالة توازن نسبي بين طاقة الجريان السطحي ومقاومة التكوينات السطحية، خاصة في المناطق ذات الانحدارات المعتدلة.

٢- تركزت مستويات التعرية العالية والعالية جدًا والشديدة في أجزاء محددة من وسط الحوض وأعاليه، نتيجة تضافر عدة عوامل، أبرزها ارتفاع الانحدار، وزيادة كثافة الشبكة المائية، وضعف الغطاء الأرضي، مما أدى إلى ارتفاع قدرة الجريان السطحي على التعرية وتعميق الأخاديد.

٣- سجلت أطراف الحوض، ولا سيما المناطق القريبة من المصب، مستويات تعرية خفيفة وخفيفة جدًا، ويُعزى ذلك إلى انخفاض الانحدار، واتساع السهل الفيضي، وسيادة عمليات الترسيب على حساب التعرية.

٤- أكدت النتائج وجود علاقة طردية واضحة بين كثافة المجاري المائية داخل الوحدات الشبكية وشدة التعرية الأخدودية، وهو ما يتوافق مع الأساس النظري لطريقة بيرجسما ويعزز موثوقية النموذج في البيئات الجافة وشبه الجافة.

٥- بينت الدراسة أن الخصائص الطبوغرافية والجيومورفولوجية للحوض كان لها الدور الحاسم في توجيه مسارات الجريان السطحي والتحكم بدرجات التعرية، أكثر من العوامل المناخية قصيرة الأمد.

٦- أظهرت نتائج التعرية الأخدودية انعكاسات مباشرة على الاستخدامات البشرية للأرض، إذ تتوافق مناطق التعرية العالية مع مناطق أقل ملاءمة للنشاط الزراعي وأكثر عرضة لفقدان التربة.

٤-٢ التوصيات

١- توجيه إجراءات حماية التربة نحو مناطق التعرية العالية والعالية جدًا، من خلال تعزيز الغطاء النباتي الطبيعي، وتقليل الأنشطة البشرية غير المنظمة، خاصة في أعالي الحوض.

٢- العمل على إنشاء مصاطب زراعية وحواجز ترابية صغيرة في المناطق ذات الانحدارات المرتفعة للحد من سرعة الجريان السطحي وتقليل تطور الأخاديد.

٣- تشجيع استخدام نماذج التعرية الكمية المدمجة مع GIS في الدراسات الجيومورفولوجية المستقبلية، بدلًا من الاعتماد على الأساليب الوصفية التقليدية.

٤- اعتماد خريطة التعرية الأخدودية كأداة مساعدة في إدارة مخاطر التدهور الأرضي ودعم متخذي القرار على المستويين المحلي والإقليمي.

قائمة المصادر

أولا: المصادر العربية

١- جاسم، ابتسام أحمد، هيدروجيومورفولوجية حوض التون كوبري في محافظة كركوك، أطروحة دكتوراه، جامعة بغداد، ٢٠٠٦.

٢- خضير، سراء وضاح، اثر درجات الحرارة والرطوبة في راحة الانسان في محافظة كركوك العراق (١٩٩٠ – ٢٠٢٠)، مجلة جامعة كركوك للدراسات الإنسانية، مج٢٠, ع٢، جامعة كركوك، ٢٠٢٥.

٣- العزي، أحمد محمد صالح، التقييم الجيومورفولوجي لحوض (وادي النفط) باستخدام التقنيات الجغرافية المعاصرة، مجلة جامعة كركوك للدراسات الإنسانية، مج٨, ع٢، جامعة كركوك، ٢٠١٣.

٤- هالة محمد عبد الرحيم.(٢٠١٦) التعرية الأخدودية في حوض وادي هيزوب، مجلة لاراك، كلية الاداب، جامعة واسط، مجلد ٨ عدد ١.

٥- جبار فرحان، (٢٠٢٤) تطبيق نموذج Bergsma لحساب التعرية الأخدودية في حوض وادي الرحبة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في شرق محافظة ميسان، المجلة الدولية للعلوم الإنسانية والاجتماعية، العدد ٥٣. رابط المجلة:

https://doi.org/10.33193/IJoHSS.53.2024.666

ثانيا: المصادر الأجنبية:

6- Al-Saadi, M. W. H. H. (2023). Analysis and modeling of drought effects based on drought indicators in the eastern region of Missan. Journal of Sustainable Studies, 5(2).

7- Bergsma, E. (1982). Gully erosion and its control. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen.

8- Foody, G. M. (2003). Remote sensing of soil erosion. Progress in Physical Geography, 27(2), 135–153.

9- Ismaeel, I. A., et al. (2021). Developing an active tool in GIS to determine gully erosion levels depending on the Bergsma method. Uruk for Humanities Journal, 14(3), 2453–2470.

10- Jensen, J. R. (2013). Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective (2nd ed.). Pearson.

11- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation (7th ed.). Wiley.

12- Monteith, J. L., & Unsworth, M. H. (2013). Principles of Environmental Physics (4th ed.). Academic Press.

13- Morgan, R. P. C. (2005). Soil Erosion and Conservation (3rd ed.), Oxford: Blackwell Publishing.

14- Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (2005). Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment,New York: John Wiley.

.